

Europäisches Patentamt

(19)

European Patent Office

Offic européen des brevets



(11)

EP 1 055 805 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

29.11.2000 Patentblatt 2000/48

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: F01N 3/023, F01N 3/035

(21) Anmeldenummer: 00109755.9

(22) Anmeldetag: 09.05.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 22.05.1999 DE 19923781

(71) Anmelder:

Degussa-Hüls Aktiengesellschaft  
60287 Frankfurt am Main (DE)

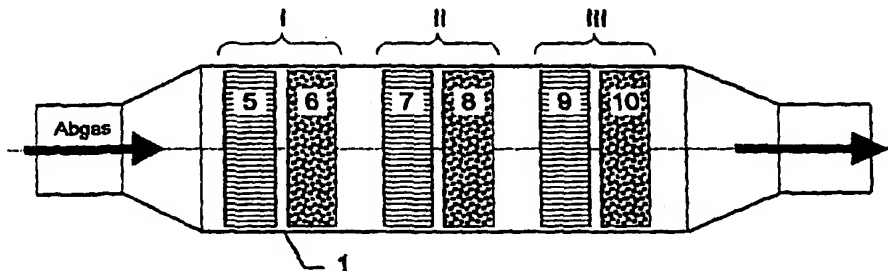
(72) Erfinder:

- Schäfer-Sindlinger, Adolf, Dr.  
60488 Frankfurt (DE)
- Strehlau, Wolfgang, Dr.  
69221 Dossenheim (DE)
- Lox, Egbert, Dr.  
63403 Hanau (DE)
- Kreuzer, Thomas, Dr.  
61184 Karben (DE)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Entfernung von Ruß aus dem Abgas eines Dieselmotors

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entfernung von Ruß aus dem Abgas eines Dieselmotors durch Oxidation des im Abgas enthaltenen Stickstoffmonoxids zu Stickstoffdioxid, Abtrennen des Rußes aus dem Abgasstrom und Oxidieren des Rußes unter Verwendung des erzeugten Stickstoffdioxids. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß der beschriebene Verfahrensablauf jeweils in wenigstens zwei aufeinanderfolgenden Verfahrensstufen durchgeführt und der

Ruß in jeder Verfahrensstufe mit einem Wirkungsgrad  $W$  zwischen 0,05 und 0,95 vom Abgasstrom abgetrennt wird, wobei jeder Verfahrensstufe eine Transmission für Ruß gemäß  $T = 1 - W$  zugeordnet werden kann und die Gesamttransmission des Verfahrens für Ruß als Produkt der Transmissionen aller Verfahrensstufen gegeben ist.



Figur 2

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entfernung von Ruß aus dem Abgas eines Dieselmotors durch Oxidation des im Abgas enthaltenen Stickstoffmonoxids zu Stickstoffdioxid, Abtrennen des Rußes aus dem Abgasstrom und Oxidieren des Rußes unter Verwendung des erzeugten Stickstoffdioxids. Die Erfindung ist mit besonderem Vorteil für Dieselmotoren im unteren Leistungsbereich bis 100 kW einsetzbar.

[0002] Die für das Jahr 2005 geplanten Grenzwerte in der EU für Dieselfahrzeuge zielen auf die gleichzeitige Verringerung von Stickoxid- und Rußemissionen. Die geplanten Grenzwerte für Fahrzeuge mit einem zulässigem Gesamtgewicht unter 2,5 Tonnen betragen für Stickoxide (NO<sub>x</sub>) 0,25 g/Km und für Partikel 0,025 g/Km. Durch konstruktive Maßnahmen am Dieselmotor kann nur jeweils eine der beiden Schadstoffkomponenten vermindert werden, während die andere gleichzeitig verstärkt auftritt.

[0003] So kann zum Beispiel durch Optimierung der Verbrennung die Emission von Ruß gesenkt werden. Die hierfür notwendigen höheren Verbrennungstemperaturen führen jedoch zu einer verstärkten Bildung von Stickoxiden. Die Stickoxide ihrerseits können durch Maßnahmen wie Abgasrückführung (EGR = Exhaust Gas Recirculation) vermindert werden, was jedoch wiederum die Emission der Partikel erhöht. Der derzeitige Entwicklungsstand von Dieselmotoren für den genannten Anwendungsbereich stellt ein Optimum bezüglich der Emission von Stickoxiden und Ruß dar. Die Emission der Stickoxide liegt bei diesen Motoren im Teillastbereich unterhalb von 100 Vol.-ppm, die der Partikel bei etwa 0,5 g/Km. Der Versuch, eine der beiden Komponenten durch motorische Maßnahmen weiter zu verringern führt automatisch zu einer erhöhten Emission der anderen Schadstoffkomponente.

[0004] Die geplanten Abgasgrenzwerte können daher nur durch eine geeignete Abgasnachbehandlung eingehalten werden. Hierbei liegt der Schwerpunkt der Bemühungen auf der Verminderung der Emission von Ruß, da die Stickoxidemissionen moderner Dieselmotoren den geplanten Grenzwerten schon sehr nahe kommen.

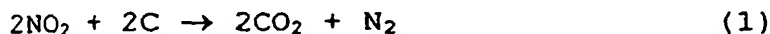
[0005] Zur effektiven Verminderung der Emission von Ruß werden derzeit hauptsächlich Rußfilter eingesetzt. Weit verbreitet sind hierbei die sogenannten Wandflußfilter, die ähnlich aufgebaut sind wie die bekannten Katalysatorträgerkörper in Wabenform. Bei den Wandflußfiltern sind die den Wabenkörper durchziehenden Strömungskanäle für das Abgas wechselseitig verschlossen, so daß das Abgas durch die porösen Wände des Filters strömen muß. Solche Wandflußfilter filtern bis zu 95% des Rußes aus dem Abgas heraus.

[0006] Mit zunehmender Rußbeladung nimmt der Strömungswiderstand der Filter zu. Die Filter müssen daher durch Verbrennen des Rußes regeneriert werden. Derzeit übliche Verfahren zur Rußverbrennung nutzen thermische oder katalytische Verfahren oder auch Additive zum Kraftstoff zur kontinuierlichen oder zyklischen Regeneration der Partikelfilter. Zur thermischen Verbrennung des Rußes sind Temperaturen oberhalb von 600°C notwendig. Durch eine katalytische Beschichtung der Filter kann die Zündtemperatur des Rußes erheblich abgesenkt werden.

[0007] So beschreibt die DE 3407172 C2 eine Einrichtung zur Reinigung der Abgase von Dieselmotoren, welche in einem Gehäuse unmittelbar oder im Abstand hintereinander Filterelemente enthält, wobei mindestens ein Filterelement A eine die Zündtemperatur des Rußes senkende Beschichtung und mindestens ein Filterelement B eine die Verbrennung gasförmiger Schadstoffe fördernden Katalysator trägt und Filterelemente A und B sich einander mehrfach abwechseln.

[0008] Die EP 341832 B1 beschreibt ein Verfahren zur Behandlung des Abgases von Schwerlastwagen. Das Abgas wird zuerst ohne Filtern über einen Katalysator geleitet, um das in ihm enthaltene Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid zu oxidieren. Das Stickstoffdioxid enthaltende Abgas wird dann zum Verbrennen der auf einem nachgeschalteten Filter abgelagerten Partikel verwendet, wobei die Menge des Stickstoffdioxids ausreicht, um die Verbrennung der auf dem Filter abgelagerten Teilchen bei einer Temperatur von weniger als 400°C durchzuführen.

[0009] Die EP 835684 A2 beschreibt ein Verfahren zur Behandlung des Abgases von Kleinlast- und Personenkraftwagen. Das Abgas wird gemäß diesem Verfahren über zwei hintereinandergeschaltete Katalysatoren geführt, von denen der erste das im Abgas enthaltene Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid oxidiert, welches Rußpartikel, die sich auf dem zweiten Katalysator abgelagert haben zu CO<sub>2</sub> oxidiert, wobei Stickstoffdioxid nach folgender Reaktionsgleichung zu Stickstoff reduziert wird:



[0010] Die WO 99/09307 beschreibt ein Verfahren für die Verminderung der Rußemission von Schwerlastwagen. Gemäß diesem Verfahren wird das Abgas zunächst über einen Katalysator zur Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid und anschließend über ein Rußfilter geleitet, auf dem der abgeschiedene Ruß kontinuierlich oxidiert wird. Ein Teil des gereinigten Abgases wird über einen Kühler geleitet und dann der Ansaugluft des Dieselmotors zugemischt.

[0011] Voraussetzung für das einwandfreie Funktionieren der letzten Verfahren ist das Vorhandensein einer ausreichenden Menge an Stickstoffdioxid, damit eine möglichst vollständige Verbrennung des im Abgas enthaltenen Rußes nach Reaktionsgleichung (1) ablaufen kann.

[0012] Moderne Dieselmotoren für Kleinlast- und Personenwagen nutzen jedoch zumeist eine Abgasrückführung (EGR), um die Emission von Stickoxiden möglichst niedrig zu halten. Im Abgas solcher Dieselmotoren werden üblicherweise weniger als 100 Vol.-ppm an Stickoxiden beobachtet. Aufgrund der niedrigen Abgastemperaturen (<250°C), insbesondere von Pkw-Dieselmotoren, ist die Wirksamkeit des Verfahrens zusätzlich eingeschränkt, da selbst mit hohen Stickoxidemissionen keine ausreichenden Mengen an Stickstoffdioxid erzeugt werden können.

[0013] Die von modernen Dieselmotoren mit Abgasrückführung emittierten Mengen an Stickoxiden reichen in der Regel nicht aus, um eine vollständige Rußoxidation unter allen Betriebszuständen zu gewährleisten. Außerdem konnten die Erfinder im Teillastbereich von Personenkraftwagen mit Dieselmotoren keine vollständige Stickoxidreduktion gemäß Reaktionsgleichung (1) feststellen. Von einer Abgasreinigungsvorrichtung gemäß EP 835684 A2 wurden etwa soviele Stickoxide emittiert wie in die Vorrichtung eintraten.

[0014] Aufgabe der folgenden Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welches ebenfalls die Rußoxidation mittels Stickstoffdioxid nutzt, jedoch auch bei solchen Dieselmotoren einsetzbar ist, die aufgrund motorischer Maßnahmen nur eine geringe Rohemission an Stickoxiden aufweisen. Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0015] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Entfernung von Ruß aus dem Abgas eines Dieselmotors durch Oxidation des im Abgas enthaltenen Stickstoffmonoxids zu Stickstoffdioxid, Abtrennen des Rußes aus dem Abgasstrom und Oxidieren des Rußes unter Verwendung des erzeugten Stickstoffdioxids. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß der beschriebene Verfahrensablauf jeweils in wenigstens zwei aufeinanderfolgenden Verfahrensstufen durchgeführt und der Ruß in jeder Verfahrensstufe mit einem Wirkungsgrad W zwischen 0,05 und 0,95 vom Abgasstrom abgetrennt wird, wobei jeder Verfahrensstufe eine Transmission für Ruß gemäß  $T = 1 - W$  zugeordnet werden kann und die Gesamttransmission des Verfahrens für Ruß als Produkt der Transmissionen aller Verfahrensstufen gegeben ist.

[0016] Als Wirkungsgrad W der Rußabtrennung wird im Rahmen dieser Erfindung die Differenz aus der in eine Verfahrensstufe pro Zeiteinheit eintretenden und der pro Zeiteinheit hindurchtretenden Rußmasse, dividiert durch die pro Zeiteinheit eintretende Rußmasse, verstanden. Dementsprechend handelt es sich bei der Transmission einer Verfahrensstufe für Ruß um den Quotienten aus der pro Zeiteinheit durch die Verfahrensstufe hindurchtretenden Rußmasse zu der in die Verfahrensstufe eintretenden Rußmasse. Der Wirkungsgrad W der Rußabtrennung und die Rußtransmission T einer Verfahrensstufe sind über  $T = 1 - W$  miteinander verknüpft.

[0017] Die Gesamttransmission  $T_g$  aller Verfahrensstufen ergibt sich als Produkt der Transmissionen  $T_i$  aller Verfahrensstufen:

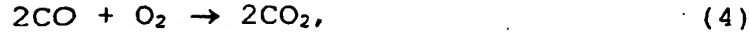
$$T_g = \prod_{i=1}^n T_i \quad (2)$$

$T_g$ : Gesamttransmission  
 $T_i$ : Transmission der i-ten Verfahrensstufe  
 n: Anzahl der Verfahrensstufen

[0018] Die Erfindung beruht auf der Beobachtung, daß die Oxidation des Dieselerußes im Teillastbereich von Dieselmotoren überwiegend nicht nach Reaktionsgleichung (1) abläuft, sondern wahrscheinlich nach der folgenden Reaktionsgleichung



und



da trotz Verminderung des abgetrennten Rußes kein wesentlicher Umsatz der Stickoxide gemessen werden kann.

[0019] Stickstoffdioxid wird also unter den Abgasbedingungen, wie sie bei Teillast von Dieselmotoren vorliegen, bei der Oxidation von Rußpartikeln gemäß Reaktionsgleichung (3) überwiegend nur zu Stickstoffmonoxid reduziert.

[0020] Da der geringe Gehalt des Abgases moderner Dieselmotoren an Stickoxiden nicht für die Oxidation aller emittierten Partikel ausreicht, wird daher erfindungsgemäß die Abtrennung der Rußpartikel auf mehrere Verfahrensstufen verteilt, wobei der Wirkungsgrad der Abtrennung zwischen 0,05 und 0,95 liegt.

[0021] Die Anzahl der anzuwendenden Verfahrensstufen hängt davon ab, welcher Bruchteil des emittierten Rußes mit  $d_n$  im Abgas enthaltenen Stickoxiden oxidiert werden kann. Da das Verhältnis der Stickoxide zu Ruß keine Motor-konstante ist, sondern auch von den jeweiligen Betriebsbedingungen abhängt, stellt die Festlegung der Anzahl der Ver-fahrensstufen einen Kompromiß dar. In der Regel sind 2 bis 4 Verfahrensstufen ausreichend.

[0022] Erfindungsgemäß werden in jeder Verfahrensstufe maximal 50% des eintretenden Rußes abgetrennt. Vor-teilhafterweise wird die Transmission der ersten Verfahrensstufe so gewählt, daß die abgeschiedene Rußmenge  $g$  rad vollständig durch die zu Stickstoffdioxid oxidierten Stickoxide des Abgases verbrannt werden kann. Gemäß Gleichung (3) wird dabei Stickstoffmonoxid zurückgewonnen, welches in der zweiten Verfahrensstufe erneut zu Stick-stoffdioxid oxidiert wird, um den in der zweiten Verfahrensstufe abgeschiedenen Ruß zu oxidieren. Stickstoffmonoxid wird also im vorgestellten Verfahren als Sauerstoffüberträger verwendet. Die Oxidation von Kohlenmonoxid nach (4) erfolgt in der jeweils folgenden Verfahrensstufe zusammen mit der Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid.

[0023] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine Verminderung der Rußemission auf 30 bis 5% angestrebt, das heißt die Gesamttransmission des Verfahrens, berechnet als Produkt der Transmissionen aller Verfahrensstufen, soll kleiner als 0,3 bis kleiner als 0,05 sein. Um eine optimale Oxidation des Dieselrußes in allen Verfahrensstufen zu gewährleisten, sollte in einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens die Transmission des Dieselrußes in jeder folgenden Verfahrensstufe derart vermindert sein, daß die jeweils abgetrennte Rußmenge in allen Verfahrensstufen annähernd gleich ist. Die Transmissionswerte zweier aufeinanderfolgender Verfahrensstufen  $T_i$  und  $T_{i+1}$  müssen dann der folgenden Beziehung gehorchen:

$$T_{i+1} = \frac{2T_i - 1}{T_i} \quad (5)$$

[0024] Die Transmission der ersten Verfahrensstufe ergibt sich in diesem Fall zu

$$T_1 = \frac{1}{n} (T_g + n - 1) \quad (6)$$

[0025] Die folgende Tabelle listet die Transmissionswerte in den einzelnen Verfahrensstufen für die Fälle auf, bei denen das Gesamtverfahren sich aus 2, 3 oder 4 Verfahrensstufen zusammensetzt und die Gesamttransmission jeweils den Wert 0,05 aufweist.

**Tabelle 1: Transmissionswerte**

$n$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_g$
2	0,525	0,095			0,05
3	0,683	0,537	0,136		0,05
4	0,763	0,689	0,548	0,174	0,05

[0026] Die Transmissionswerte der Tabelle 1 ergeben sich aus der Forderung, daß die in allen Verfahrensstufen abgetrennten Mengen an Ruß gleich groß sein sollen. Für die praktische Umsetzung des Verfahrens dienen die Werte von Tabelle 1 jedoch nur als grobe Richtwerte.

[0027] Erfindungsgemäß wird in jeder Verfahrensstufe Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid oxidiert, Ruß vom Abgas abgetrennt und mit Hilfe des in der Verfahrensstufe erzeugten Stickstoffdioxids verbrannt. Zur Oxidation von Stickstoffmonoxid wird zweckmäßigerweise ein geeigneter Katalysator verwendet. Für die Abtrennung des Rußes vom Abgasstrom können bekannte Filter für Dieselruß eingesetzt werden.

[0028] In einer speziellen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens bilden der Oxidationskatalysator für Stickstoffmonoxid und das Filter ein integrales Bauteil. Zu diesem Zweck kann das Filter aus dem Katalysatormaterial gefertigt sein, zum Beispiel in Form einer Schaumkeramik. Vorteilhafter ist die Beschichtung eines Filters mit einer geeigneten Katalysatorschicht. In dieser Ausführungsform des Verfahrens finden also die Bildung von Stickstoffdioxid, die Abtrennung des Rußes und seine Verbrennung auf dem selben Bauteil statt und laufen zeitlich parallel zueinander ab.

[0029] In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens bilden der Katalysator und das Filter getrennte Bauteile. In diesem Fall ist der Katalysator, bezogen auf die Strömungsrichtung des Abgases, vor dem Filter angeordnet und sollte keine wesentliche Filterwirkung auf die Partikel des Dieselrußes ausüben. Diese Funktion kann von Katalysatoren in Form der bekannten Wabenkörper wahrgenommen werden. Solche Wabenkörper haben im allgemeinen eine zylindrische Form und werden in axialer Richtung von parallelen Strömungskanälen für das Abgas durchzogen. Sie können entweder direkt aus dem Katalysatormaterial gefertigt sein und einen sogenannten Vollkatalysator bilden, oder aus einem inerten Tragkörper in Wabenform mit einer aufgetragenen Katalysatorbeschichtung bestehen.

[0030] In der zweiten Ausführungsform des Verfahrens finden die Oxidation von Stickstoffmonoxid und die Abtrennung von Dieselruß räumlich voneinander getrennt statt. Beide Ausführungsformen können auch in beliebiger Weise miteinander kombiniert werden. Zur Unterstützung der Rußoxidation können zusätzliche Katalysatorkomponenten verwendet werden, die den Rußabbrand fördern. In der ersten Ausführungsform des Verfahrens werden diese Katalysatorkomponenten in Mischung mit dem Oxidationskatalysator für Stickstoffmonoxid eingesetzt, während in der zweiten Ausführungsform des Verfahrens nur das Rußfilter mit diesen Katalysatorkomponenten ausgerüstet wird.

[0031] Geeignete Katalysatoren für die Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid enthalten als katalytisch aktive Komponente bevorzugt Platin auf einem Trägermaterial wie zum Beispiel aktives Aluminiumoxid, Aluminiumsilikat, Titanoxid, Zirkonoxid, Siliziumdioxid und Mischoxide dieser Materialien. Diese Materialien sollten eine spezifische Oberfläche (BET Oberfläche, gemessen nach DIN 66132) von wenigstens  $5 \text{ m}^2/\text{g}$  aufweisen, um eine möglichst hochdisperse Abscheidung des Platins auf dieser Oberfläche zu ermöglichen. Zur Stabilisierung gegenüber hohen Abgastemperaturen können diese Materialien mit geeigneten Stabilisatoren dotiert sein, zum Beispiel mit Lanthan- oder Bariumoxid dotiertes  $\gamma$ -Aluminiumoxid. Die Konzentration des Platins auf dem fertigen Katalysator sollte zwischen 0,5 und 5 g pro Liter Katalysatorvolumen liegen, um eine ausreichende Oxidation des Stickstoffmonoxids zu gewährleisten. Die für die Herstellung eines solchen Katalysators einzusetzenden Techniken sind dem Fachmann bekannt.

[0032] Als Filterelemente für die Verfahrensstufen eignen sich alle bekannten Filter für Dieselruß, wobei darauf zu achten ist, daß ihre Filterwirkung entsprechend den Anforderungen in den verschiedenen Verfahrensstufen gewählt wird. Die hierfür geeigneten Maßnahmen hängen vom Typ des verwendeten Filters ab. Es eignen sich die bekannten Wandflußfilter, Schaumkeramiken, Draht- oder Fasergeflechte, Kreuzkanalfilter und andere. Schaumkeramiken und Geflechte gehören zur Klasse der sogenannten Tiefenfilter. Ihre Transmission kann zum Beispiel in einfacher Weise durch ihre Länge in Strömungsrichtung des Abgases verändert werden.

[0033] Wandflußfilter bestehen aus einem porösen Wabenkörper mit wechselseitig verschlossenen Strömungskanälen, so daß das Abgas beim Durchströmen des Filters durch die porösen Wände der Strömungskanäle hindurchtreten muß. Zur Änderung des Abtrennungswirkungsgrades dieser Filter können sie mit unterschiedlichen Porositäten hergestellt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, eine bestimmte Anzahl von Strömungskanälen als Durchgangskanäle ohne Filterwirkung auszuführen, um den Abtrennungswirkungsgrad zu vermindern, beziehungsweise ihre Transmission zu erhöhen.

[0034] Die Filter in den verschiedenen Verfahrensstufen können alle vom selben Filtertyp sein. Es können jedoch auch verschiedene Filtertypen kombiniert werden. Dies erleichtert die Realisierung der in den verschiedenen Verfahrensstufen erforderlichen Transmissionswerte.

[0035] Katalysatorkomponenten, die die Zündtemperatur des Rußes herabsetzen und damit den Rußabbrand fördern werden zum Beispiel in den deutschen Patentschriften DE 3141713 C2, DE 3232729 C2 und DE 3407172 C2 beschrieben. Geeignet für die Herabsetzung der Zündtemperatur von Dieselruß sind gemäß diesen Schriften Vanadium enthaltende Verbindungen wie Silber-, Lithium-, Natrium-, Kalium- und Cervanadat, Vanadiumpentoxid und/oder Perrhenate des Kaliums oder Silbars.

[0036] Das Verfahren eignet sich besonders bei Fahrzeugen mit niedrigen Rohemissionen an Stickoxiden, die schon den gesetzlichen Vorgaben entsprechen. Nach der letzten Verfahrensstufe können die noch vorhandenen Stick-

oxide daher an die Umwelt abgegeben werden. Alternativ besteht natürlich die Möglichkeit, eine Verfahrensstufe zur Reduktion der verbliebenen Stickoxide anzufügen. Gleichzeitig wird in dieser Stufe auch die Oxidation des restlichen Kohlenmonoxids und eventuell im Abgas noch enthaltener Kohlenwasserstoffe vorgenommen.

[0037] Die Figuren 1 bis 3 zeigen drei Ausführungsformen der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit jeweils drei Verfahrensstufen I, II und III.

[0038] Alle drei Figuren zeigen eine Vorrichtung aus einem Konvertergehäuse (1), in dem jeweils drei Behandlungseinheiten für das Abgas angeordnet sind. Die drei Behandlungseinheiten entsprechen den drei Verfahrensstufen I, II und III. In Figur 1 werden die drei Behandlungseinheiten (2), (3) und (4) durch Partikelfilter für Ruß gebildet, die mit einem Katalysator für die Oxidation von Stickstoffmonoxid beschichtet sind. Zur Verminderung der Rußemission auf unter 5% weist das erste Filter (2) gemäß Tabelle 1 eine Transmission von etwa 70%, das zweite Filter (3) eine Transmission von etwa 55% und das dritte Filter (4) eine Transmission von etwa 13% auf.

[0039] In der Vorrichtung gemäß Figur 2 bestehen alle Behandlungseinheiten jeweils aus einem Katalysator (5), (7) und (9) in Wabenform und einem Filter für Dieseluß (6), (8) und (10). Während die Katalysatoren keine nennenswerte Filterwirkung aufweisen, müssen die Wirkungsgrade, beziehungsweise die Transmissionswerte, der Filter gemäß Tab II 1 gewählt werden.

[0040] Figur 3 zeigt eine Kombination der Ausführungsformen von Figur 1 und 2. Die ersten beiden Behandlungseinheiten entsprechen den Behandlungseinheiten von Figur 2. Die dritte Behandlungseinheit wird durch ein Filterelement gemäß Figur 1 gebildet.

[0041] In den Vorrichtungen gemäß den Figuren 1 bis 3 sind die den einzelnen Verfahrensstufen zugeordneten Behandlungseinheiten in einem gemeinsamen Konvertergehäuse untergebracht. Aus zum Beispiel Gründen der räumlichen Anordnung am Kraftfahrzeug kann für jede Behandlungseinheit ein separates Konvertergehäuse vorgesehen werden. In bestimmten Fällen kann es auch zweckmäßig sein, den Katalysator (5) von Figur 2 in einem separaten Gehäuse motornah anzuordnen, um die Abgaswärme optimal zu nutzen und somit eine bessere Rußoxidation zu erhalten.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Entfernung von Ruß aus dem Abgas eines Dieselmotors durch Oxidation des im Abgas enthaltenen Stickstoffmonoxids zu Stickstoffdioxid, Abtrennen des Rußes aus dem Abgasstrom und Oxidieren des Rußes unter Verwendung des erzeugten Stickstoffdioxids,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der beschriebene Verfahrensablauf jeweils in wenigstens zwei aufeinanderfolgenden Verfahrensstufen durchgeführt und der Ruß in jeder Verfahrensstufe mit einem Wirkungsgrad  $W$  zwischen 0,05 und 0,95 vom Abgasstrom abgetrennt wird, wobei jeder Verfahrensstufe eine Transmission für Ruß gemäß  $T = 1 - W$  zugeordnet werden kann und die Gesamttransmission des Verfahrens für Ruß als Produkt der Transmissionen aller Verfahrensstufen gegeben ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Transmission für Ruß in jeder folgenden Verfahrensstufe derart vermindert ist, daß die jeweils abgetrennte Rußmenge in allen Verfahrensstufen annähernd gleich ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß Oxidation des im Abgas enthaltenen Stickstoffmonoxids zu Stickstoffdioxid, Abtrennen und Oxidation der Rußpartikel in wenigstens einer Verfahrensstufe an einem Filterelement für Ruß vorgenommen wird, welches mit einer Katalysatorbeschichtung zur Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid versehen ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Katalysatorbeschichtung zusätzlich den Rußabbrand fördernde Komponenten enthält.
5. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Abgas in wenigstens einer Verfahrensstufe über einen Katalysator für die Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid und anschließend über ein Filterelement für Ruß geleitet wird, wobei der Katalysator im wesentlichen keine Filterwirkung auf die Rußpartikel ausübt.

6. Verfahren nach Anspruch 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Filterelement mit einer den Rußabbrand fördernden Beschichtung versehen ist.
- 5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß als Filterelemente für Ruß Wandflußfilter, Tiefenfilter oder Kreuzkanalfilter verwendet werden.
8. Verfahren nach Anspruch 1,  
10 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Abgas nach Durchlaufen der Verfahrensstufen zur Entfernung des Rußes einer weiteren Reinigungsstufe unterworfen wird, in der die noch enthaltenen Stickoxide und restliche Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid entfernt werden.
- 15 9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Vorrichtung wenigstens zwei hintereinander angeordnete Behandlungseinheiten aus einem Katalysator zur Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid und einem Filterelement zur Filtration von Dieseluß enthält.
- 20 10. Vorrichtung nach Anspruch 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Transmission der Filterelemente für Dieseluß zwischen 0,5 und 0,95 beträgt.
- 25 11. Vorrichtung nach Anspruch 10,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Gesamttransmission aller Filterelemente der Vorrichtung für Dieseluß, berechnet als Produkt der Transmissionen aller Filterelemente, kleiner als 0,05 ist.
- 30 12. Vorrichtung nach Anspruch 11,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Transmission eines Filterelementes gegenüber dem jeweils vorhergehenden Filterelement derart vermindert ist, daß die abgeschiedene Rußmenge auf allen Filterelementen annähernd gleich ist.
- 35 13. Vorrichtung nach Anspruch 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß den Behandlungseinheiten aus Katalysatoren und Filterelementen ein Katalysator zur Reduktion von Stickoxiden nachgeschaltet ist.
- 40 14. Vorrichtung nach Anspruch 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Behandlungseinheiten in einem gemeinsamen Konvertergehäuse angeordnet sind.
- 45 15. Vorrichtung nach Anspruch 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß wenigstens eine Behandlungseinheit in einem separaten Konvertergehäuse angeordnet ist.
16. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
50 daß die Vorrichtung wenigstens zwei hintereinander angeordnete Behandlungseinheiten aus einem Filterelement für Ruß enthält, welches mit einer Katalysatorbeschichtung zur Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid und mit Rußabbrand fördernden Katalysatorkomponenten versehen ist.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16,  
55 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Behandlungseinheiten in einem gemeinsamen Konvertergehäuse angeordnet sind.
18. Vorrichtung nach Anspruch 16,

## EP 1 055 805 A1

dadurch gekennzeichnet,  
daß wenigstens eine Behandlungseinheit in einem separaten Konvertergehäuse angeordnet ist.

5

10

15

20

25

30

35

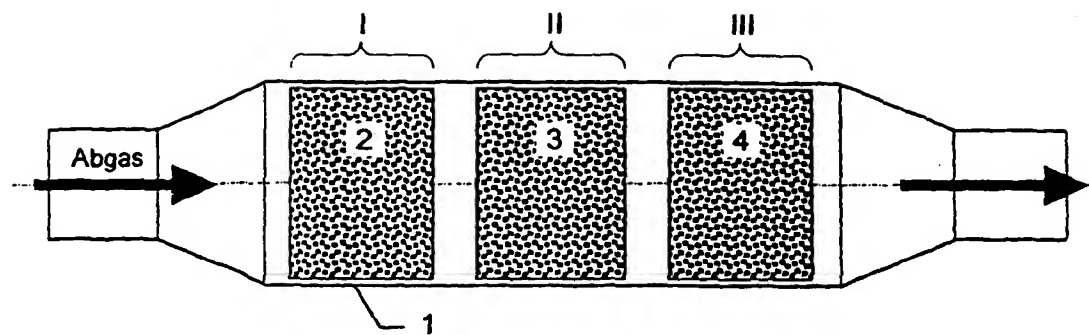
40

45

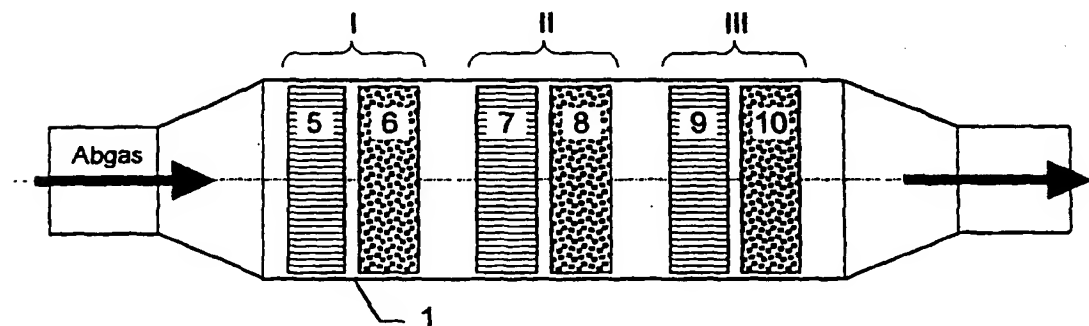
50

55

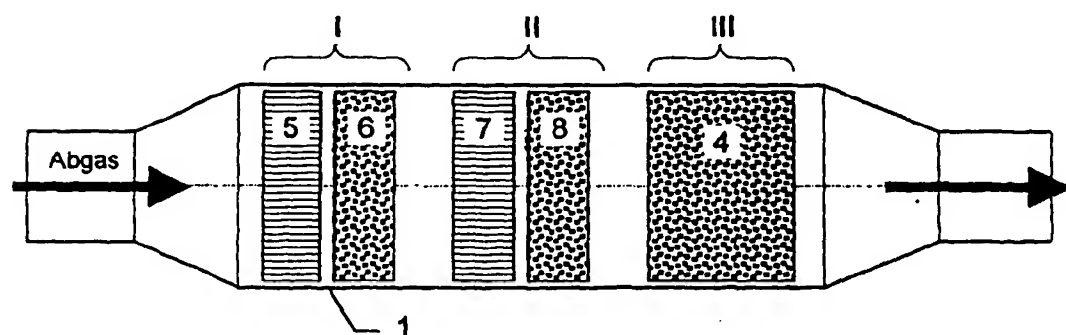




Figur 1



Figur 2



Figur 3



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 00 10 9755

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no. 07, 31. Juli 1997 (1997-07-31) & JP 09 079024 A (TOYOTA MOTOR CORP.), 25. März 1997 (1997-03-25)	1,5,7, 9-12,14, 15	F01N3/023 F01N3/035
Y	* Zusammenfassung; Abbildung 2 *	3,6,8,13	
Y	EP 0 758 713 A (TOYOTA MOTOR CO LTD) 19. Februar 1997 (1997-02-19) * Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 5, Zeile 58 * * Spalte 16, Zeile 50 - Spalte 17, Zeile 6; Abbildungen 1,6 *	3,8,13	
Y	EP 0 341 832 A (JOHNSON MATTHEY INC) 15. November 1989 (1989-11-15)	6	
A	* Zusammenfassung; Ansprüche 1,5,7; Abbildung 1 *	4	
A	EP 0 835 684 A (JOHNSON MATTHEY PLC) 15. April 1998 (1998-04-15) * Spalte 2, Zeile 32 - Zeile 43; Ansprüche 1,6 *	16,17	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			F01N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>DEN HAAG</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>31. August 2000</b>	Prüfer <b>Schmitter, T</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung eingeführtes Dokument L : aus anderen Gründen eingeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichttechnische Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 (3.12.92) (Prelim)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 00 10 9755

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Daten des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

31-08-2000

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 09079024	A	25-03-1997	KEINE		
EP 0758713	A	19-02-1997	JP	9053442 A	25-02-1997
			US	5746989 A	05-05-1998
EP 0341832	A	15-11-1989	US	4902487 A	20-02-1990
			AT	132940 T	15-01-1996
			DE	68925382 D	22-02-1996
			DE	68925382 T	15-05-1996
			DK	233389 A	14-11-1989
			ES	2081301 T	01-03-1996
			GR	3018800 T	30-04-1996
			IE	71167 B	29-01-1997
			JP	1318715 A	25-12-1989
			JP	3012249 B	21-02-2000
			NO	891936 A,B,	14-11-1989
EP 0835684	A	15-04-1998	JP	10159552 A	16-06-1998
			NO	974706 A	14-04-1998

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82